

① BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

② Patentschrift  
③ DE 197 53 620 C 1

④ Int. Cl. 6:  
G 01 B 21/30  
G 06 F 15/18  
G 01 B 11/30  
G 01 N 21/88  
0  
7

⑤ Aktenzeichen: 197 53 620.4-52  
⑥ Anmeldetag: 3. 12. 97  
⑦ Offenlegungstag: -  
⑧ Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 7. 10. 99

12.96  
EINGETRAGEN  
08. Okt. 1999  
Erl.....

DE 197 53 620 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspr

⑨ Patentinhaber:

Michaelis, Bernd, Prof. Dr.-Ing.habil., 39175  
Biederitz, DE

⑩ Vertreter:

Leinung, G., Dipl.-Jur., Pat.-Anw., 39108  
Magdeburg

⑪ Erfinder:

Lilienblum, Tilo, Dipl.-Ing., 39104 Magdeburg, DE;  
Michaelis, Bernd, Prof. Dr.-Ing. habil., 39175  
Biederitz, DE; Günther, Georg, Dr.rer.nat., 07751  
Cospeda, DE; Bauer, Gerhard, Dipl.-Ing., 07745  
Jena, DE; Küchel, Michael, Prof. Dr., 73447  
Oberkochen, DE

⑫ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 43 21 042 C1  
DE 42 07 728 A1  
US 50 31 154

LILIENBLUM, T., ALBRECHT, P., MICHAELIS, B.:  
Improvement of 3-D data with Neural Networks, In:  
Journal of Microelectronic Systems Integration,  
Vol. 15, 1997, S. 53-64;  
OJA A. "A Simplified Neuron Model as a Principal  
Component Analyzer" In: J.Math:Biologie 15  
(1982) S. 267-273;

⑬ Verfahren zur Erkennung von Abweichungen der Oberflächenform von einer vorgegebenen Form durch eine dreidimensionale Meßwertfassung und eine nachfolgende Verarbeitung mit einem künstlichen neuronalen Netz

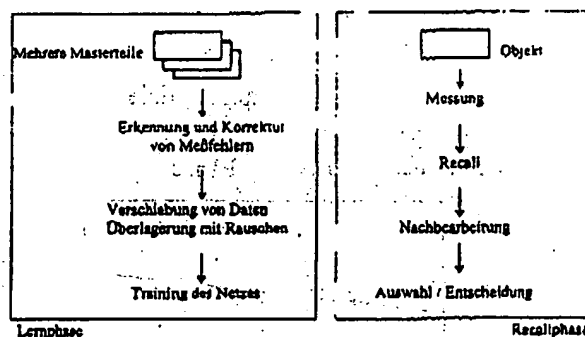
⑭ Mit Hilfe optischer und mechanischer Meßverfahren können Werkstücke auf ihre Qualität hin überprüft werden. Im einfachsten Fall wird dabei zunächst ein Masterteil vermessen. Die Aussage über die Qualität des zu vermessenden Teils kann durch Vergleich (Differenzbildung) mit dem Masterteil erfolgen.

Das Vermessen eines Masterteils und Subtraktion von Originalteil ist aber nur möglich, wenn für alle Teile eine entsprechend genaue Justierung realisiert werden kann. Sind die Fehler im Vergleich zur Größe des Maßstells aber sehr klein, erhöhen sich die Anforderungen an die Justierung. Oft ist eine Justierung mit der notwendigen Genauigkeit nicht mehr möglich. Meistens sind die Teile nicht nur verschoben, sondern auch in sich verbogen und verdreht. In diesem Fall ist es nicht mehr möglich, durch Differenzbildung eines Masterteils mit dem Maßstell automatisch Fehler zu detektieren.

Dieses Problem wird mit der Erfindung folgendermaßen gelöst:

Das zu vermessende Objekt wird vermessen. Die Meßwerte werden in einem modifizierten Assoziativspeicher (künstliches neuronales Netz) eingegeben und am Ausgang abgerufen (Recall). In den Gewichten des modifizierten Assoziativspeichers sind ein oder mehrere Masterteile in unterschiedlichen Positionen und Lagen gespeichert. Dadurch wird die gesamte Bandbreite der möglichen Variationen der Masterteile erfaßt.

Am Ausgang des modifizierten Assoziativspeichers bleiben nur diejenigen Anteile der Meßdaten übrig, die den gespeicherten ...



DE 197 53 620 C 1

DE 197 53 620 C 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erkennung von Fehlern der Oberflächenform eines Objektes, bei dem 3D-Meßdaten der Oberfläche des zu prüfenden Objektes (nachfolgend als Prüfobjekt bezeichnet) mittels eines künstlichen neuronalen Netzes mit den 3D-Meßdaten der Oberfläche eines als fehlerfrei geltenden Objektes (sog. Masterteil) verglichen werden. Die Erfindung ist für solche Meßaufgaben einsetzbar, bei denen die Fehler im Vergleich zur Größe des Prüfobjektes sehr klein sind und das Prüfobjekt z. B. aus Gründen der Aufwandssenkung nur mit geringerer Genauigkeit in der Meßposition justiert werden kann. Derartige Meßaufgaben bestehen z. B. bei der Überwachung der Fertigung großflächiger defgezogener Blechteile.

Ein bekanntes Verfahren zur Erkennung von Fehlern der Oberflächenform ist z. B. das Vermessen eines Masterteiles und die Subtraktion dieser Meßwerte von den Meßwerten des Prüfobjektes. Sind die Fehler im Vergleich zur Größe des Prüfobjektes aber sehr klein, erhöhen sich die Anforderungen an diese Justierung.

So kann z. B. mittels einer 3D-Oberflächenvermessung das Höhenprofil des Prüfobjektes mit einer Oberfläche von ca. 1 m x 1 m vermessen werden. Auftretende Fehler zeichnen sich durch eine Abweichung der Höhenkoordinate von einer Sollform aus. Die Empfindlichkeit der Fehlererkennung soll bei 0,1 mm liegen.

Bei der Größe des Prüfobjektes ist eine Justierung auf 0,1 mm genau nicht oder nur mit erheblichem Aufwand möglich. Meistens sind die Prüfobjekte nicht nur verschoben, sondern auch in sich verbogen und verdreht.

Eine genaue Justierung ist aber erforderlich, wenn durch einfache Differenzbildung mit den Meßwerten eines Masterteils der Fehler erkannt werden soll. Ist die Justierung aber nur auf z. B. 1 cm genau möglich, so sind die durch fehlerhafte Justierung entstehenden Fehler 100 mal so groß wie der eigentlich zu detektierende Fehler. Eine Erkennung des Fehlers ist in diesem Fall nur noch in Ausnahmefällen möglich. Eine automatische Fehlererkennung ist in diesem Fall nahezu ausgeschlossen.

Es ist bekannt, künstliche neuronale Netze einzusetzen, um die Qualitätsprüfung und Fehlerklassifizierung von Prüfobjekten weitgehend zu automatisieren (z. B. DE 42 07 728 A1, DE 43 21 042 C1). Der sinnvolle Einsatz eines künstlichen neuronalen Netzes zur Auswertung der infolge unzureichender Justiergenauigkeit verfälschten Differenzwerte zwischen den Höhenkoordinaten von Masterteil und Prüfobjekt würde jedoch z. B. eine a-priori-Information über die Größe der positionsabhängigen Fehler voraussetzen. Eine derartige Information ist in den genutzten Netzen (z. B. DE 42 07 728 A1, DE 43 21 042 C1) nicht enthalten, so daß die Fehlererkennung unter Anwendung dieses neuronalen Netzes offenbar unzureichende Ergebnisse liefert.

Laut US 5 031 154 kann durch eine dreidimensionale Meßwertaufnahme und eine nachfolgende Verarbeitung mit einem künstlichen neuronalen Netz eine Identifizierung eines Objektes unabhängig von seiner Positionierung und Winkelstellung erfolgen. Der Vergleich des Objektes mit einem Meisterstück und die dadurch auftretenden Probleme werden in diesem Patent jedoch nicht beschrieben.

Eine andere Möglichkeit ist, das Prüfobjekt mit Hilfe von Polynomen zu approximieren und anhand des Approximationsfehlers auf den Fehler des Prüfobjektes zu schließen. Auf Grund der Komplexität der zu vermessenden Prüfobjektes ist auch diese Verfahrensweise oft nicht möglich. In diesem Fall ist es nicht mehr möglich, durch Differenzbildung eines Masterteils mit dem Meßteil automatisch Fehler zu detektieren.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, bei dem der Einfluß der Justiergenauigkeit des Prüfobjektes auf das Prüfungsergebnis weitgehend oder vollständig beseitigt wird, so daß mit geringem Justieraufwand auch kleine Fehler unter Anwendung eines neuronalen Netzes automatisch detektierbar sind.

Diese Aufgabe wird mit den im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 angegebenen Merkmalen gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Der Grundgedanke der Erfindung besteht in folgendem. Unter Verzicht auf die nach dem Stand der Technik erforderliche Justiergenauigkeit des Prüfobjektes wird mittels des neuronalen Netzes aus den Meßdaten des Prüfobjektes ein solches Recallergebnis erzeugt, das den Geometriedaten eines Masterteils entspricht, welches in Lage und Form eine bestmögliche Übereinstimmung mit dem Prüfobjekt besitzt. Die Differenzbildung zwischen dem so erhaltenen Recallergebnis und den Meßdaten des Prüfobjektes liefert die gewünschten Daten für die Fehler des Prüfobjektes. Es erfolgt daher eine Abkehr von der nach dem Stand der Technik bekannten Differenzbildung zwischen den Geometriedaten eines in einer vorgegebenen Lage positionierten Masterteils und eines an diese Lage bestmöglich angepaßten Prüfobjektes. Auf diese Weise kann auf den bisher notwendigen hohen Aufwand verzichtet werden, um die Lage des Prüfobjektes in die Lage eines vorgegebenen Masterteils einzujustieren.

Der Grundgedanke des erfindungsgemäßen Verfahrens ist grundsätzlich nicht nur für 3D-Meßaufgaben geeignet. Er kann auch als Lösungsansatz für andere Aufgaben der Fehlererkennung und Qualitätsprüfung genutzt werden.

Im folgenden ist die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen mit weiteren Einzelheiten näher erläutert. Dabei zeigen

Fig. 1 eine schematische Darstellung des Ablaufs der Lern- und Recallphase nach der Erfindung,

Fig. 2 eine schematische Darstellung des neuronalen Netzes (links) und der Verarbeitung der Daten einer Oberfläche (rechts),

Fig. 3 eine gemäß der Erfindung berechnete Differenz bei einem fehlerfreien Objekt,

Fig. 4 eine gemäß der Erfindung berechnete Differenz bei einem fehlerhaften Objekt.

Zur Erkennung von Abweichungen der Oberflächenform eines Prüfobjektes von einer vorgegebenen Form wird mit Hilfe der Erfindung folgendermaßen vorgegangen.

In der Lernphase (Fig. 1) werden mehrere (fehlerfreie) Masterteile in unterschiedlichen Positionen und Lagen vermessen. Die Meßdaten werden in einem künstlichen neuronalen Netz (Fig. 2) gespeichert. Dadurch wird die gesamte Bandbreite der möglichen Variationen der Masterteile erfaßt.

Um den Einfluß eventueller Meßfehler zu reduzieren, kann vor der Speicherung im neuronalen Netz eine Fehlererkennung erfolgen. Bestimmte Meßfehler können dann beseitigt werden bzw. die entsprechenden Datensätze werden nicht in das neuronale Netz eingespeichert. Durch zusätzliches Verschieben einzelner Datensätze können zusätzliche Datensätze

## DE 197 53 620 C 1

erzeugt werden. Dadurch kann die Anzahl der gespeicherten Daten erhöht werden.

In der Recallphase (Fig. 1, rechte Seite) wird das Prüfobjekt vermessen. Die Meßwerte werden in das neuronale Netz eingegeben. In den Gewichten des neuronalen Netzes sind nach der Lernphase ein oder mehrere Masterteile in unterschiedlichen Positionen gespeichert. Am Ausgang des neuronalen Netzes bleiben nur diejenigen Anteile der Meßdaten übrig, die den gespeicherten Masterteilen entsprechen. Fehler, also Abweichungen von diesen Masterteilen werden nicht weitergeleitet. Nach Differenzbildung zwischen dem gemessenen Teil und dem Recallergebnis bleiben nur die gesuchten Fehler übrig. Diese können dann mit Standardmethoden der Bildverarbeitung ausgewertet werden.

Der Aufbau des neuronalen Netzes entsprechend [Lilienblum, T.; Albrecht, P.; Michaelis, B.: Improvement of 3-D Data by Neural Networks, in: Journal of Microelectronic System Integration, Volume 5 (1997), S. 53-64] wird im folgenden beschrieben.

Es wird ein linearer und modifizierter Assoziativspeicher genutzt (Fig. 2). Es sollen als Eingangswerte die Koordinaten der Oberfläche bezogen auf ... oder bezogen auf die Bildpunkte des Kamerasensors mit der Matrix Z bezeichnet werden. Der Einfachheit halber wird diese Matrix Z im folgenden als Vektor  $\bar{z}$  beschrieben (Vektorisierung).

Unter Umständen ist es auch notwendig nur einen bestimmten Teil der Meßpunkte für die Auswertung zu verwenden. Diese Meßpunkte können z. B. durch eine Matrix der Größe von Z mit einer entsprechenden Gültigkeitsinformation zu jedem Meßpunkt erfolgen. Diese Matrix soll im folgenden als Maske bezeichnet werden.

Im Assoziativspeicher werden mittelwertfreie Meßdaten verarbeitet. D. h., von den für das Training bzw. die Berechnung der Gewichte verwendeten Datensätzen (im folgenden als Trainingsdaten bezeichnet) wird zunächst ein Mittelwertdatensatz gebildet, der dem Prototyp des Meßobjektes entspricht. Dieser Mittelwert wird von den Eingangsdaten des Assoziativspeichers subtrahiert und zu den Ausgangsdaten wieder addiert. Der Assoziativspeicher verarbeitet nur die Variabilität des Meßobjektes. Durch dieses Vorgehen vereinfachen sich mathematische Zusammenhänge und es können entsprechende Standardalgorithmen verwendet werden (z. B. die Karhunen-Loève-Transformation). Im neuronalen Netz kann dieser Mittelwert auch durch entsprechende Offsetgrößen (Bias) dargestellt werden.

In Fig. 2 (linkes Bild) sind  $z_1, \dots, z_i$  die Elemente des Eingangsvektors abzüglich des Mittelwertes.  $z_1^*, \dots, z_n^*$  enthalten die Ausgangsdaten abzüglich dieses Mittelwertes. Das rechte Bild in Fig. 1 verdeutlicht die Verarbeitung einer Fläche mit diesem Netz.

Beim Einsatz des modifizierten Assoziativspeichers für diese Erfindung ist die Anzahl der Ein- und Ausgänge in der Regel gleich ( $l = n$ ).

Mit der Festlegung des neuronalen Netzes auf lineare Verbindungen resultieren einfache Beziehungen. Die Matrizen W und G enthalten die Gewichte der entsprechenden neuronalen Schichten. Die korrigierten Werte  $\bar{z}^*$  werden mit Hilfe der Matrizen W und G sowie den Ausgangswerten  $\bar{a}$  der Neuronen der Hidden-Schicht folgendermaßen berechnet:

$$\bar{s} = W\bar{z} \quad (1)$$

da

$$\bar{z}^* = G\bar{s} \quad (2)$$

folgt:

$$\bar{z}^* = G\bar{W}\bar{z} \quad (3)$$

Wenn  $m \ll l, n$ , findet in der Hidden-Schicht (Vektor  $\bar{s}$ ) normalerweise eine beträchtliche Datenreduktion statt. Dadurch können die erforderlichen Glättungseffekte erreicht werden. Da in der zweiten Schicht (Gewichtsmatrix W) entsprechend der vorgeschlagenen Lösung zweckmäßig eine Transformation der Daten mit Hilfe der Karhunen-Loève-Transformation erfolgt, sind die Gewichtsvektoren  $[w_{11} \ w_{12} \ \dots \ w_{1l}] \ \dots \ [w_{m1} \ w_{m2} \ \dots \ w_{ml}]$  orthonormal. Die Gewichte können durch konventionelle Lösung des Eigenwertproblems oder durch die Hebbische Lernregel [Oja, E.: A Simplified Neuron Model as a Principal Component Analyzer. J. Math. Bio., Vol. 15, 1982, pp. 267-273] bestimmt werden.

Die Gewichte der dritten Schicht werden mit  $G = W^T$  berechnet.

Da die Gewichte des Netzes entsprechend der Karhunen-Loève-Transformation berechnet werden, konzentriert sich die Information über das eingegebene Meßobjekt in den Ausgängen der ersten Neuronen der Hidden-Schicht  $a_1 \ \dots \ a_m$ . Der Rekonstruktionsfehler

$$R_m = \left| \bar{z} - \sum_{\mu=1}^m \bar{s}_{\mu} a_{\mu} \right|^2 \quad (4)$$

wird minimal für jede spezifische Anzahl von Neuronen m im Hidden-Layer.  $\bar{s}_{\mu}$  entspricht der  $\mu$ -ten Spalte der Matrix G. Objektformen, die in der Lernphase nicht trainiert werden (zu detektierende Fehler), werden geglättet. Ein größeres m läßt aber eine größere Variabilität des Meßobjektes zu.

Die Verarbeitung der Daten mit dem modifizierten Assoziativspeicher soll im folgenden als Recall bezeichnet werden.

Die Verarbeitung der Meßdaten läßt sich dann folgendermaßen zusammenfassen:

Nach der Messung ergibt sich die Meßpunktmatrix Z. Diese wird auf den Vektor  $\bar{z}$  abgebildet.

$$Z \rightarrow \bar{z} \quad (5)$$

Das Recallergebnis des Assoziativspeichers

DE 197 53 620 C 1

$$\mathbf{z}^* = \mathbf{W}^T (\mathbf{W}(\mathbf{z} - \mathbf{\bar{z}})) + \mathbf{\bar{z}} \quad (6)$$

wird wieder in eine Matrix umgeformt.  $\mathbf{W}$  ist die Gewichtsmatrix,  $\mathbf{\bar{z}}$  der Mittelwertvektor der Trainingsdaten.

$$\mathbf{z}^* \rightarrow \mathbf{Z} \quad (7)$$

Aus der Differenz beider Matrizen ergibt sich eine entsprechende Fehlermatrix  $\mathbf{F}$ , die den Abweichungen von den trainierten Masterteilen entspricht.

$$\mathbf{F} = \mathbf{Z}^* - \mathbf{Z} \quad (8)$$

Die Verdeutlichung der mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erreichbaren Resultate sollen dargestellt werden an realen Meßobjekten mit einer Oberfläche von ca. 1 m x 1 m. Diese Datensätze hatten eine Größe von 480 x 480 Pixel.

Zwei Objekte wurden als in Ordnung eingestuft. Von diesen wurden 41 Datensätze gewonnen (in etwas unterschiedlicher Position mit Abweichungen im cm-Bereich). Bestimmte Bereiche konnten nicht vermessen werden und wurden ausgespart. Diese sind in Fig. 3 und 4 auf Null gesetzt.

Ein weiteres Objekt, das in Ordnung eingestuft wurde, wurde ebenfalls vermessen.

Fig. 3 zeigt die berechnete Differenz  $\mathbf{F}$  bei dem fehlerfreien Objekt und Fig. 4 bei einem fehlerhaften Objekt. Der in Fig. 3 untersuchte Datensatz wurde nicht zum Trainieren des Netzes verwendet. Andere Datensätze dieses Objektes (in etwas veränderter Position) wurden aber zum Training genutzt.

Wie an den Bildern zu erkennen ist, sind die berechneten Differenzen beim fehlerhaften Objekt bedeutend größer als beim fehlerfreien Objekt. Die Fehler (mit Pfeilen markiert) konnten erkannt werden. Die anderen in Fig. 4 scheinbar als Fehler detektierten Bereiche entstehen durch Überspringen. Wenn nur überprüft werden soll, ob das Teil in Ordnung ist, stellen diese fälschlicherweise als zusätzliche Fehler erkannten Bereiche kein Problem dar.

Treten in der berechneten Differenz Störungen auf, können diese mit Standardalgorithmen der Bildverarbeitung verringert oder beseitigt werden.

Es ist auch möglich dieses Verfahren mit Hilfe von Spezial-Hardware zu realisieren. Dafür gibt es mehrere Möglichkeiten (Neurocomputer, Signalprozessor). Prinzipiell müssen nur die beiden Matrixoperationen

$$\mathbf{\bar{z}} = \mathbf{W}\mathbf{z} - \mathbf{\bar{z}}, \quad (9)$$

$$\mathbf{z}^* = \mathbf{W}^T \mathbf{\bar{z}} + \mathbf{\bar{z}} \quad (10)$$

realisiert werden. Problematisch ist dabei die große Anzahl der Gewichte. Bei 16 bit Genauigkeit, 512 x 512 Bildpunkten und 32 Hidden-Neuronen des neuronalen Netzes (Zeilen der Matrix  $\mathbf{W}$ ) ergibt sich ein Speicherplatzbedarf von 16 MB. Um den Verarbeitungsprozeß in angemessener Zeit realisieren zu können, müssen diese 16 MB sehr schnell vom Prozessor geladen werden können. Bei den meisten Systemen ist dieser Spezialfall nicht vorgesehen und muß durch zusätzliche Erweiterungen realisiert werden.

Bei der Implementierung dieser Erfindung auf einem CNAPS-Neurocomputer kann ein Recall mit 512 x 512 Bildpunkten, 16 bit und 32 Hidden-Neuronen (Neuronen der Hidden-Schicht) in 2,5 s realisiert werden. Durch Einsatz zusätzlicher Hardware zum Austausch der Gewichte (Matrix  $\mathbf{W}$ ) kann diese Zeit auf 0,7 s reduziert werden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Erkennung von Abweichungen der Oberflächenform von einer vorgegebenen Form durch eine dreidimensionale Meßwertmessung und eine nachfolgende Verarbeitung mit einem künstlichen neuronalen Netz, dadurch gekennzeichnet, daß
  - nach Eingabe der Meßdaten des Prüfobjektes in das neuronale Netz ein Recall des neuronalen Netzes erfolgt und
  - als signifikante Daten für die Fehler des Prüfobjektes die Differenz zwischen den Meßdaten des Prüfobjektes und den Recalldaten des neuronalen Netzes verwendet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das neuronale Netz aus drei linearen Schichten besteht.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Hiddenschicht nur soviel Neuronen enthält, wie für die wesentliche Rekonstruktion aller Variationen in Lage und Form eines oder mehrerer Masterteile erforderlich sind.
4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Gewichte des Netzes den Eigenvektoren der Kovarianzmatrix der Meßdaten eines oder mehrerer Masterteile geordnet nach der Größe der Eigenwerte entsprechen.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Berechnung der Gewichte entweder durch Bildung der Kovarianzmatrix und nachfolgende Berechnung der Eigenvektoren oder durch ein geeignetes Lernverfahren (z. B. die Hebb'sche Lernregel) erfolgt.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Recall durch einen Neurocomputer oder eine für diese Aufgabe entworfene Schaltung realisiert wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß von den Prüfobjekten und Masterteilen nur bestimmte vorgegebene Meßpunkte verwendet werden.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Differenz zwischen den

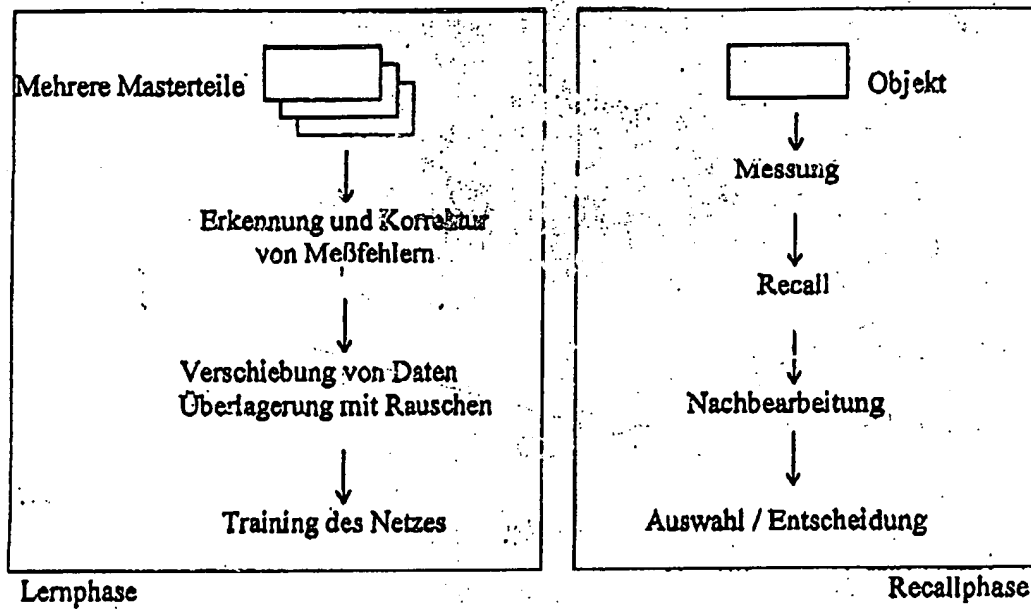


Fig. 1

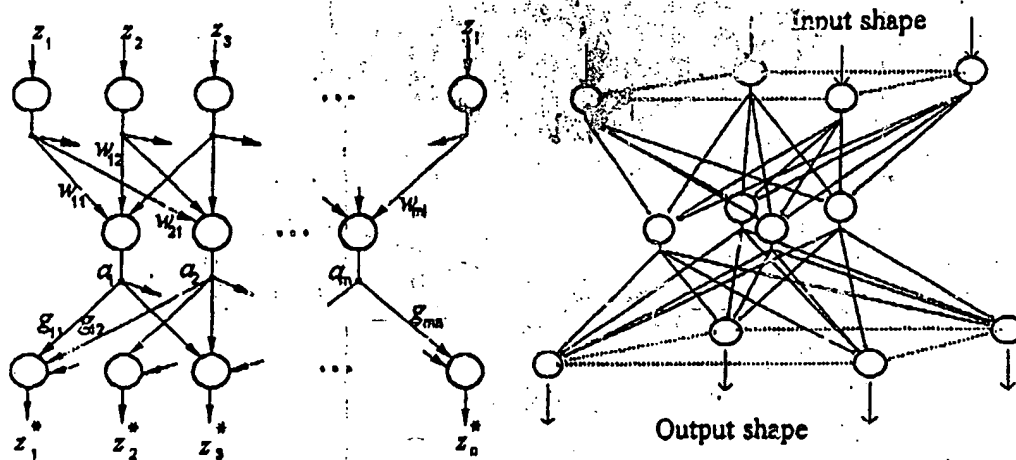


Fig. 2

**DE 197 53 620 C 1**

Meßdaten des Prüfobjektes und den Recalldaten durch geeignete Glättungsfilter geglättet wird, um Störungen durch Meßfehler einzelner Punkte zu vermeiden.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

3

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

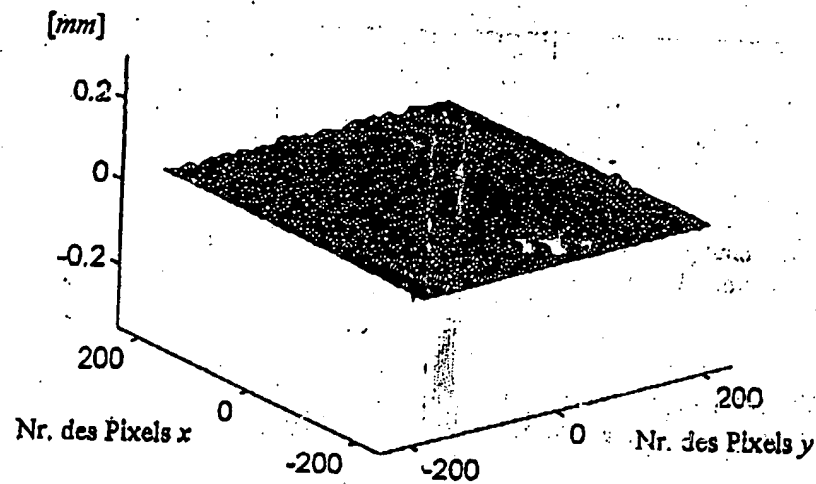


Fig. 3

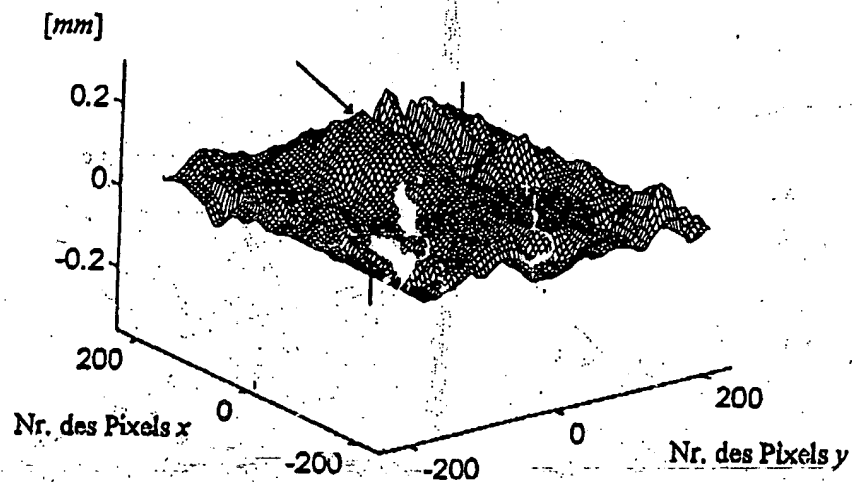


Fig. 4

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**